

und deren Adjungierte für den betreffenden heterogenen Beladungszustand ermittelt wurden.

Das Ergebnis des kritischen Experiments bestätigte die Genauigkeit der zur Berechnung benutzten Methoden.

E. FISCHER (AEG, Frankfurt): Berechnung der Regelstabwerte für den VAK-Reaktor.

Die Regelstäbe des Siedewasserreaktors in Kahl/Main bestehen aus Borstahl mit einem Borgehalt von 2 % und haben die bei Leichtwasserreaktoren übliche Kreuzform. Die nukleare Auslegung erfolgte durch die amerikanische Firma General Electric. Im Anschluß an die Nulleistungsversuche wurden verschiedene Methoden zur Berechnung von Regelstabwerten auf den Kahler Reaktor angewandt und die Ergebnisse mit dem Experiment verglichen. Alle Rechnungen wurden nach der Zellenmethode [Hurwitz und Roe, J. Nuclear Energy 2, 85 (1955)] durchgeführt, die für Reaktoren mit kleiner thermischer Diffusionslänge besonders geeignet ist. Eine einfache Abschätzung, die von Hand durchgeführt werden kann, erhält man, wenn man die 3-Gruppen-Methode auf ein eindimensionales Ersatzgitter anwendet. Die Extrapolationslänge an der Stabgrenze für die thermische bzw. epithermische Gruppe berücksichtigt die ganze bzw. teilweise Absorption der eintretenden Neutronen. Die Rechnung ergibt

während die Messung nur

$$\Delta k/k = 0,24,$$
$$\Delta k/k = 0,18$$

lieferte. Diese Unstimmigkeit führt dazu, für die Reaktorauslegung eine halbempirische Methode zu verwenden, wobei das Verhältnis des Regelstabwertes zum Wert eines Cd-Standard-Stabes aus Experimenten entnommen wird [Pashos et al., Nucleonics, 94 (1960)]. Damit ist also nur noch die thermische Absorption des Regelstabes unter Berücksichtigung der Geometrie zu berechnen. Für Kahl wurde dafür der PDQ-Code, ein zweidimensionales Differenzverfahren [Bilodeau et al., WAPD-TM-70], verwendet. Die Elementkästen und die Wasserspalte sind so dünn, daß für sie die Diffusionstheorie nicht mehr gilt. Die Gruppenkonstanten müssen deshalb aus den Grundgrößen Durchlässigkeit, Absorptionswahrscheinlichkeit und Reflexionswahrscheinlichkeit berechnet werden [Wachspress, Nu. Sci. and Eng. 3, 186 (1958)]. Nach dieser Methode erhält man für den Regelstabwert

$$k/k = 0,174$$

in guter Übereinstimmung mit den Meßergebnissen.

Nachmittag

H. STITTGEN (Kernforschungszentrum, Karlsruhe): Verallgemeinerte Mehrgruppentheorie.

Ein verbessertes Multigruppenverfahren.

Die Boltzmann-Gleichung der Neutronentransporttheorie läßt sich in vielen Fällen durch die Multigruppenapproximation näherungsweise lösen.

Es wurde ein Verfahren dargestellt, das es erlaubt, im Rahmen einer üblichen Multigruppenberechnung die Energieabhängigkeit des Neutronenflusses besser zu berücksichtigen. Dadurch wird einmal eine bessere Annäherung an die Boltzmann-Gleichung erreicht, zum anderen werden die Multigruppeneingabedaten unabhängig von Größen, die Eigenschaften spezieller Systeme sind.

Die Methode wurde in einer eindimensionalen Multigruppen-Diffusionsnäherung numerisch erprobt; die Ergebnisse wurden mit den auf üblichem Weg gewonnenen verglichen.

H. HARDER und H. BORGWALDT (Babcockwerke, Oberhausen): *Näherungsverfahren zur Berechnung von unregelmäßig aufgebauten Reaktorgittern.* (Vorgetr. von H. Harder)

Eine früher beschriebene Methode zur näherungsweisen Berechnung heterogener Anordnungen [Borgwaldt-Harder, Atomkernenergie 5, 406 (1960)] wird durch Aufstellung einer Integralbeziehung zwischen dem durch die Berandung einer i -ten Gitterzelle austretenden Neutronenstrom $j^+(x_i)$, dem eintretenden Strom $j^-(x_i)$ und den Beiträgen $k(x_i)$ der im Zellinnern vorhandenen Neutronenquellen verallgemeinert. Die gesuchten $j^+(x_i)$, $j^-(x_i)$ sowie $k(x_i)$ werden in *Fourier-Reihen* nach der auf das Zellzentrum bezogenen Winkelvariablen entwickelt. Es wurde eine Methode zur Bestimmung der Entwicklungskoeffizienten angegeben und die Erweiterung des Verfahrens auf zwei und mehr Neutronengruppen beschrieben.

I. WARMBOLD (SSW, Erlangen): *Ein Programm zur numerischen Lösung der eindimensionalen Mehrgruppen-Diffusionsgleichung mit iterativer Eigenwertbestimmung.*

Zur numerischen Lösung der obengenannten Aufgabe sind vor allem in den USA eine Reihe von Programmen ausgearbeitet worden, die alle auf dem bekannten Quelliterationsverfahren beruhen.

Diese Programme sind vorwiegend für schnelle Maschinen mit großem Speicherraum bestimmt und konnten daher nicht ohne weiteres übernommen werden. Bei der Aufstellung unseres Programmes erschien es ratsam, uns nicht zu eng an die amerikanischen Programme anzulehnen, von denen jedes andere Vorzüge besitzt, die wir in einem einzigen Programm vereint haben wollten.

Als Vorzug sehen wir vor allem einen möglichst breiten Anwendungsbereich an, den wir durch geeignete mathematische Formulierung, Organisation und Programmierung unter Ausnutzung des flexiblen Befehlscodes ohne wesentliche Erhöhung des Speicherbedarfes erreichen konnten.

Das weitere Ziel muß die Beschleunigung der Konvergenz beim Quelliterationsverfahren sein.

Das dem Programm zugrundeliegende mathematische Verfahren wurde skizziert, der Programmablauf im großen an einem Flußdiagramm gezeigt und die Vorzüge des Programms angegeben.

E. LINNARTZ, E. NUDING und W. RUPP (SSW, Erlangen): *Ein Programm zur analytischen Lösung der eindimensionalen Zwei-Gruppen-Diffusionsgleichung.* (Vorgetr. von E. Nuding)

Es sind nur wenige Programme bekannt geworden, die nach dem analytischen Lösungsverfahren arbeiten, welches stärkeren Beschränkungen unterworfen ist als das Differenzenverfahren. Es besitzt jedoch den Vorteil einer größeren Schnelligkeit und liefert eine erwünschte Kontrolle der Ergebnisse des Differenzenverfahrens.

Der Kern des Verfahrens wurde in einem Unterprogramm EVA niedergelegt, das sich durch besondere Flexibilität auszeichnet und dadurch nicht nur die Möglichkeit einer Anpassung an praktisch alle auftretenden Problemstellungen bietet, sondern auch ein Studium der Ursachen der bekannten numerischen Schwierigkeiten erlaubt.

Der Vergleich der Ergebnisse mit denen der Differenzenrechnung zeigt die verfahrensbedingten Grenzen auf und leitet eine Diskussion darüber ein, inwieweit eine Erweiterung des Verfahrens auf n Gruppen sinnvoll sein könnte.

A. MÜLLER (SSW, Erlangen): *Berechnung der Resonanzabsorption in heterogenen Brennelementen aus den Resonanzparametern.*

Die Resonanzabsorption wird dargestellt durch das Resonanzintegral, den effektiven, über das Brennelement gemittelten Resonanzabsorptionsquerschnitt eines Absorberatoms. Für ein einzelnes, mit Moderator umgebenes Brennelement wird das Resonanzintegral in 1. Näherung dargestellt durch eine Formel, die außer den Resonanzparametern nur einen Parameter $x = \sqrt{(\Sigma_p + s)/N}$ enthält. Dabei ist N die Atomzahldichte des Absorbers, Σ_p der gesamte Potentialstreuquerschnitt und s die reziproke mittlere Sehnenslänge im Brennelement. Die 1. Näherung wird verbessert durch eine Reihe von Korrekturen. Durch Iteration wird die Quelldichteänderung im Brennelement in der Nähe einer Resonanz berücksichtigt. Die Iterationskorrektur ist abhängig von x und den Massen der Streukerne. Verbesserung der Approximation für die Stoßwahrscheinlichkeit im Brennelement liefert eine geometrische Korrektur, die von x und zwei Geometrieparametern abhängt. Aus der Temperaturbewegung der Absorberkerne ergibt sich eine Temperaturkorrektur als Funktion von x und einem Temperaturparameter. Diese im wesentlichen schon veröffentlichte Theorie [Müller, Nukleonik, 2, 54 (1960)] wurde angewandt auf den Resonanzabsorber ^{238}U . Mit den neuesten Meßwerten für die Resonanzparameter wurden die 1. Näherung für das Resonanzintegral und die einzelnen Korrekturen für eine Reihe von x -Werten und verschiedene Temperaturen berechnet und graphisch dargestellt. Aus den Kurven läßt sich rasch das Resonanzintegral für ein bestimmtes Brennelement ermitteln. Vergleich mit Meßwerten zeigt eine Übereinstimmung innerhalb der Meßgenauigkeit.

A. KIRCHENMAYER (TH Stuttgart): *Zur exakten Berechnung der Resonanzabsorption aus den Resonanzparametern.*

Manche aktuellen Probleme in der Berechnung der Resonanzabsorption, wie die Berücksichtigung der räumlichen Variation der Temperatur oder der Konzentration des gebrüteten Absorbers im Brennstoffelement, lassen sich auch unter den üblichen Rechenmethoden nur durch das Monte-Carlo-Verfahren lösen. Eine Alternative zu dieser Methode, die bei einfacher Geometrie wahrscheinlich mit weniger Rechenzeit auskommt, ist die Lösung der energieabhängigen Boltzmann-Gleichung. Unsere Erfahrung mit der P_1 -Approximation bei der Verwendung der NR- und NR1A-Näherung für die Neutronenbremsung zeigt, daß man auch höhere Approximationen mit mittleren Digitalmaschinen durchführen kann. Dieses Verfahren kann für einzelne Zellen oder mit anderen Randbedingungen auch für einen ganzen homogenen Reaktor mit Reflektor statt einer Mehrgruppenrechnung verwendet werden. Um die Genauigkeit der üblichen Näherungen für die Neutronenbremsung zu untersuchen, wurde eine numerische Lösung der exakten Gleichung für ein homogenes Medium programmiert. Es stellte sich heraus, daß die exakte Rechnung für die Mischung von einigen Elementen nur etwa doppelt so lange dauert wie die NR- oder NR1A-Näherung. Die Streuintegrale können also auch in heterogenen Medien exakt berücksichtigt werden. Die durchgeführten exakten Rechnungen für das homogene Medium zeigen entgegen der NR-Approximation eine Abhängigkeit des effektiven Resonanzintegrals von den Moderatoreigenschaften. Darüberhinaus werden die Temperaturkoeffizienten gegenübergestellt und der Einfluß der Interferenz zwischen der Resonanz- und der Potentialstreuung auf das effektive Resonanzintegral untersucht.

W. OLDEKOP (SSW, Erlangen): *Eine einfache halbempirische Formel zur Berechnung des effektiven Resonanzintegrals bei homogenen und heterogenen Brennelementen.*

Es wurde eine einfache Formel mitgeteilt, welche die von Hellstrand gemessenen effektiven Resonanzintegrale mit guter Genauigkeit wiedergibt. Die Formel wird zunächst nur für homogene Brennelemente abgeleitet. Durch eine stark vereinfachte mathematische Behandlung des Problems ergibt sich ein zweigliedriger Ausdruck, der nur vom Radius des Brennelements, der Konzentration der Uranatome im homogenen (bzw. homogenisierten) Brennelement, dem Streuquerschnitt pro Uranatom und den Resonanzparametern anhängt. Da letztere nicht vollständig bekannt sind und die Rechnung ohnehin grob ist, werden zwei nur von den Resonanzparametern abhängige Konstanten als offene Parameter angesehen und an die Meßergebnisse bei massiven, metallischen Uranstäben angepaßt. Überraschenderweise zeigt sich, daß die nunmehr eindeutige Formel nicht nur die Meßergebnisse an den ebenfalls massiven UO_2 -Einzelstäben, sondern auch alle anderen von Hellstrand gemessenen Resonanzintegrale (größtenteils innerhalb der Meßgenauigkeit) richtig wiedergibt, wenn man die verschiedenen Brennelemente (Stab-bündel und Ringrohre) einfach homogenisiert. Es läßt sich plausibel machen, daß die mathematische Homogenisierung der Brennelemente auch physikalische Berechtigung hat, so daß die Übereinstimmung mit den experimentellen Ergebnissen über einen bloßen Zufall hinausgehen dürfte.

H. HEJTMANEK (Atominstitut, Wien): *Geschwindigkeitsverteilung der Neutronen beim Austritt aus einer Platte.*

Das geschwindigkeitsabhängige Neutronentransportproblem für ebene Geometrie behandelt man gewöhnlich so, daß man die Lösung der Integro-Differentialgleichung nach den Legendre Polynomen entwickelt. Beschränkt man sich in der Untersuchung dieser Gleichung auf ein Medium mit isotoper Streuung im C-System, so erhält man ein System von unendlich vielen Differentialgleichungen (Davison, Neutron Transport Theory). Nach Anwendung einer Fourier-Mellintransformation bezüglich der Variablen x und v läßt sich dieses System weiter behandeln. Die folgende Arbeit geht von der Integralgleichung des Problems, die direkt abgeleitet wird, aus und verwendet in etwas modifizierter Form die Idee einer Fourier- und Mellintransformation, um die Integralgleichung zu lösen.

Nachmittag

H. KÜSTERS und K. OTT (Kernforschungszentrum, Karlsruhe): *Monoenergetische Behandlung des Transportproblems in der Wigner-Seitz-Zelle.* (Vorgetr. von H. Küsters)

Die Flußverteilung monoenergetischer Neutronen in Medien mit zylindrischer, ebener und sphärischer Geometrie wird nach einer neuen, der Vielfachstoßtheorie ähnlichen Methode berechnet. Der Unterschied besteht darin, daß nicht nach der Ordnung der Stöße entwickelt wird, sondern daß der unter dem Streuintegral auftretende Neutronenfluß durch eine Reihe in r^2 beschrieben wird, wodurch formal Stöße bis zu unendlich hoher Ordnung berücksichtigt sind. Dabei geht die Boltzmannsche Integralgleichung in ein lineares Gleichungssystem für die Koeffizienten der r^2 -Entwicklung über. Als inhomogenes Glied tritt in diesem Gleichungssystem der Flußbeitrag der unmittelbar von außen einlaufenden Neutronen auf, der der Einfachstoßverteilung entspricht. Die Berechnung dieses Anteils ist nach der hier entwickelten Methode für beliebige Anisotropie des einlaufenden Neutronenstromes möglich. Die hohe Genauigkeit der Berechnung des Neutronenflusses im

Brennstoff kann jedoch nicht voll ausgenutzt werden, wenn der einlaufende Strom nur aus einer Diffusionslösung im Moderator berechnet wird, wie dies bei allen Anwendungen der Vielfachstoßtheorie geschieht.

Der Neutronenfluß im Moderator wird durch eine verbesserte Diffusionstheorie beschrieben und der in das Brennelement einlaufende Strom wird nicht aus dem Gradienten des Neutronenflusses am Stabrand, sondern aus dem strengen transporttheoretischen Integral berechnet.

J. LIEBEROTH und M. WAGNER (Interatom, Bensberg): *Eine Methode zur Lösung der Transportgleichung für ebene Zellprobleme.* (Vorgetr. von M. Wagner)

Es wurde ein numerisches Verfahren zur Lösung der Transportgleichung für ebene Reaktorzellen beschrieben. Man geht aus von den Differentialgleichungen nach Wick (Methode der diskreten Ordinaten) und stellt die allgemeine Lösung $\psi_j(x)$ (j = Winkelgruppenindex) dar als Funktion der zunächst unbestimmten Anfangswerte a_k

$$\psi_j = \sum_k \xi_{kj} a_k + \eta_j.$$

Die Matrix ξ_{kj} mit den Randwerten $\xi_{kj}(x_0) = \delta_{kj}$ und der Vektor η_j mit dem Randwert $\eta_j(x_0) = 0$ stellen die homogenen bzw. inhomogenen Lösungen des Gleichungssystems dar. Beide Lösungen können rekursiv berechnet werden. Die Anfangswerte a_k erhält man durch Erfüllen der Randbedingungen an der gegenüberliegenden Zellgrenze.

Je nach der verwendeten Integrationsnäherung

$$\int_{-1}^1 \psi(x, \mu) d\mu \simeq \sum_j a_j \psi_j(x)$$

und der verfügbaren Wortlänge der Digitalrechenanlage ist das Verfahren auf Zellen beschränkt, die eine gewisse Länge L_{Max} (in freien Weglängen) nicht überschreiten. Für L_{Max} wurde eine Abschätzung angegeben.

G. F. KOHLMAYR (TH Darmstadt): *Strenge Lösung der inhomogenen Neutronentransportgleichung durch Vollzug des Grenzübergangs $L \rightarrow \infty$ am inhomogenen Differentialgleichungssystem der P_L -Näherung.*

Der inhomogenen Integrodifferentialgleichung für monoenergetische Neutronen entspricht in der P_L -Näherung ein inhomogenes gewöhnliches Differentialgleichungssystem der Ordnung $L+1$. Zur Lösung des letzteren wird für den Fall einer Ebenenquelle in einem unendlich ausgedehnten, anisotrop streuenden, homogenen materiellen Medium ein Greenscher Tensor angesetzt, der sich nach der Minormethode auf eine Greensche Funktion zurückführen läßt. Die Aufsummierung der auftretenden unendlichen Reihe gelingt unter Heranziehung der Lagrangeschen Interpolationsformel und des Integralsatzes von Cauchy [W. Kofink, Nuovo Cim. Suppl. 2, 9, 497 (1958)]. Die vorgeschlagene Lösungsmethode kann auf die Zylinder- und Kugelgeometrie übertragen werden; auch die Behandlung der energieabhängigen Transportgleichung (Neutronenbremsung an extrem leichten Atomkernen im unendlich ausgedehnten, homogenen Medium) nach demselben Verfahren bietet keine grundsätzlichen Schwierigkeiten.

H. KELLNER (Atominstitut, Wien): *Yvon'sche Approximationsmethode und Lösung des Milne-Problems.*

Die Yvonsche Methode, welche die Transportgleichung

$$\mu \frac{\partial \psi(x, \mu)}{\partial x} + \psi(x, \mu) = \frac{c}{2} \int_{-1}^{+1} \psi(x, \mu') d\mu'$$

für ebene Geometrie und isotrope Streuung durch Zerlegung der Winkelverteilung $\psi(x, \mu)$ in $\psi^+(x, \mu)$ und $\psi^-(x, \mu)$, also in rechts- und linkslaufende Neutronen, approximativ löst, wurde eingehend untersucht. Das durch Entwicklung nach *Legendre*-Polynomen in $(2\mu-1)$ bzw. $(2\mu+1)$ entstehende lineare homogene Differentialgleichungssystem wurde allgemein nach den Momentenfunktionen $\psi_m^+(x)$ und $\psi_m^-(x)$ aufgelöst und daraus durch Aufsummieren die Winkelverteilung, der Fluß und Strom in der N -ten Approximation berechnet. Mittels der Randbedingung $\psi^+(0, \mu) = 0$ wurde das *Milne*-problem gelöst und mit dem Ergebnis der *Sykess*-schen Methode verglichen. Schließlich wurde der Grenzübergang $N \rightarrow \infty$ untersucht. Es zeigt sich, daß man so zu einer exakten Lösung der Transportgleichung gelangen kann.

FREITAG, DER 28. APRIL 1961

Vormittag

J. LIEBEROTH (Interatom, Bensberg): *Verbesserte Diffusionsnäherung der Transportgleichung für ebene Probleme.*

Mit Neutronenfluß ψ , Streuanteil des Flusses $c\psi$ und äußerer Neutronenquelle Ql wird eine möglichst allgemeine lineare gewöhnliche Differentialgleichung 2. Ordnung mit zunächst noch unbestimmten Koeffizienten angeschrieben. Die *Fourier*-transformierte dieser Gleichung wird mit der entsprechenden Gleichung der strengen Transporttheorie (ebene Geometrie) verglichen und durch Wahl der offenen Koeffizienten der letzteren möglichst gut angepaßt.

Bei (reinperiodischen) Zellproblemen hängen die Koeffizienten von der in freien Weglängen gemessenen Zellgröße L ab. In der erwähnten Differentialgleichung 2. Ordnung hat man dann eine verbesserte Diffusionsgleichung, die auch für die Flußberechnung sehr kleiner, jedoch nicht zu komplizierter Zellen ebener Geometrie anwendbar ist.

D. EMENDÖRFER (TH Stuttgart): *Transportkorrekturen in der Gruppendiffusionstheorie.*

Im Rahmen der P_3 -Approximation der Transportgleichung werden Korrekturen für die Gruppendiffusionstheorie hergeleitet. Ausgehend von den energieabhängigen Momentengleichungen 1. Ordnung gewinnt man durch Elimination der höheren Momente eine Gleichung 4. Ordnung für den Neutronenfluß. Im Fall anisotroper Streuung werden dabei Näherungen für die Streuintegrale der höheren Momente eingeführt. Die Gleichung 4. Ordnung läßt sich so umformen, daß die in der P_3 -Approximation zusätzlich auftretenden Terme als Korrekturen der gewöhnlichen Diffusionsgleichung erscheinen. Die Korrekturterme hängen von den Materialkonstanten und von der lokalen Flußwölbung ab. Aus der energieabhängigen Gleichung 4. Ordnung werden verallgemeinerte Gruppengleichungen hergeleitet. Wertet man die Korrekturterme näherungsweise mit der Flußwölbung der P_1 -Approximation aus, so erhält man Mehrgruppengleichungen 2. Ordnung mit im allgemeinen ortsabhängigen Gruppenkonstanten, die eine Annäherung an die asymptotische P_3 -Lösung darstellen. Durch eine Störungsrechnung mit den Fluß- und Einflußfunktionen der P_1 -Approximation wurde der Reaktivitätsbeitrag der Transportkorrekturen für einen homogenen Leichtwasserreaktor abgeschätzt.

K. H. LINDACKERS (Abt. Kernenergie und Strahlenschutz des TÜV Köln, Aachen): *Probleme der Reaktorabschirmungsberechnung.*

„Eine der vielfältigen sicherheitstechnischen Aufgaben bei der Planung und dem Bau eines Kernreaktors ist die Abschirmung der unmittelbaren Umgebung gegen die beim Betrieb der Reaktoranlage auftretenden ionisierenden Strahlungen und Neutronen. Insbesondere wegen der beim Einfang thermischer Neutronen entstehenden sogenannten Einfanggammastrahlung ist es erforderlich, die räumliche Verteilung des thermischen Neutronenflusses in den verschiedenen zwischen dem Reaktorkern und dem jeweils betrachteten Bezugspunkt liegenden Werkstoffschichten zu berechnen.

Die z. Zt. international üblichen Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Neutronenflußverteilung wurden kurz skizziert. Für ortsfeste Reaktoren üblicher Bauart reicht es meist aus, den Berechnungen ein Dreigruppenverfahren zugrunde zu legen, um insbesondere die räumliche Verteilung des thermischen Neutronenflusses mit ausreichender Genauigkeit zu ermitteln. In der ersten Gruppe werden die sogenannten schnellen Neutronen erfaßt, deren Energie größer als zwei MeV ist, während in den beiden folgenden Gruppen die epithermischen und thermischen Neutronen berücksichtigt werden. Die Berechnung der Flußverteilung der schnellen Neutronen kann mit Hilfe des sogenannten Ausscheidungsquerschnittes relativ einfach erfolgen. Für die beiden restlichen Gruppen wird die bekannte Diffusionsgleichung verwendet.

Die bestehenden Schwierigkeiten bei der Ermittlung der neutronenphysikalischen Werkstoffkennwerte wurden aufgezeigt. Es wurde an verschiedenen Beispielen demonstriert, wie wichtig es ist, den Berechnungen Werte zugrunde zu legen, die sich nachher in der Praxis auch tatsächlich realisieren lassen. Dies gilt insbesondere für die chemische Zusammensetzung und die tatsächliche Dichte der verschiedenen zur Abschirmung verwendeten Betonsorten.

Zum Schluß wurde erläutert, in welcher Weise entsprechende Berechnungen für verschiedene deutsche Kernreaktoren durchgeführt worden sind. Meßergebnisse konnten leider noch nicht mitgeteilt werden, weil die infrage kommenden Reaktoren z. Zt. nicht mit ausreichender Leistung betrieben werden bzw. noch im Bau sind.

Die Diskussion zeigte, daß es sicherlich in nächster Zeit angebracht sein dürfte, die verschiedenen Probleme bei der Durchführung von Strahlenschutzberechnungen für Kernreaktoren im Rahmen einer besonderen Tagung zu behandeln.

H. KUNZE (Kernforschungszentrum, Karlsruhe): *Spektren in heterogenen Reaktoren.*

Es wurde in dieser Arbeit ein analytisches Verfahren zur Berechnung von Neutronenspektren in heterogenen Reaktoren mit regulären Gitterstrukturen entwickelt. Die Ortsabhängigkeit des Neutronenflusses wurde nach der Meetzschen Theorie behandelt, welche den Neutronenfluß in Gestalt einer doppelten Fourierreihe darstellt. Eine Entwicklung der energieabhängigen Fourierkoeffizienten nach einem der bekannten Orthogonalsysteme (Laguerresche oder Hermitesche Funktionen), welche zweifelsohne eine geeignete Darstellung des Neutronenspektrums bei kleinen Energien liefern würde, wird durch den asymptotischen Abbremscharakter des Spektrums unmöglich gemacht. Es wurde daher zunächst die asymptotische Entwicklung der Fourierkoeffizienten bestimmt. Diese bei großen Energien die Fourierkoeffizienten des Flusses darstellenden Funktionen wurden stetig zum Nullpunkt der

Energieskala fortgesetzt. Die Differenzfunktionen zwischen den so über der gesamten Energieachse erklärten Funktionen und den wirklichen *Fourierkoeffizienten* konnten dann in rasch konvergierende Reihen nach den *Laguerreschen Orthogonalfunktionen* entwickelt werden. Schließlich wurde der Summenwert der *Fourierentwicklung* des energieabhängigen Neutronenflusses mit großer Genauigkeit angegeben.

H. MÄRKL (SSW, Erlangen): *Umrechnung von Westcott-Querschnitten auf Zweigruppenquerschnitte mit fester Gruppen-Energiegrenze.* (Vortrag fiel aus)

B. KOZIK (TH Dresden): *Behandlung der Bremsung schneller Neutronen mittels der Differenzendifferentialgleichung.*

K. H. JOEST und G. MEMMERT (Interatom, Bensberg): *Berechnung des Fermi-Alters für wasserstoffhaltige Mischungen.* (Voretr. von K. H. Joest)

O. MACHNIG und R. KÜSTER (BBC-Krupp, Mannheim): *Zur mathematischen Behandlung zeitabhängiger mehrschichtiger Diffusions- und Wärmeleitungs-Probleme.* (Voretr. von R. Küster)

Die Behandlung mehrschichtiger, von den Außenrändern her durch zeit- und ortsabhängige Randbedingungen gesteuerter Wärmeleit- und Diffusionsprobleme ist durch einen gewöhnlichen Separationsansatz nicht möglich, weil die Übergangsbedingungen an den Zwischenrändern — Stetigkeit von Temperatur bzw. Fluß und Wärme- bzw. Diffusionsstrom — zeitlich nicht erhalten bleiben. Es wird ein Ansatz vorgeschlagen, bei dem die betreffende Feldgröße an den Schichtgrenzen zunächst als bekannte Steuerfunktion vorausgesetzt wird. Die Lösung des so entstandenen einschichtigen Problems gelingt nach *Kneschke* mit Hilfe einer Einflußfunktion, die sich einfach aus dem stationären Problem gewinnen läßt und anschaulich die Lösung eines ungesteuerten Abkühlvorganges bedeutet. Die Stetigkeit der Feldgrößen an den Übergangsstellen ist durch diesen Ansatz gegeben. Die Stetigkeitsforderung für die Stromgrößen liefert ein System von Integralgleichungen für die zunächst rein zeitabhängig angenommenen Funktionswerte an den Schichtgrenzen, das sich durch einfache Transformation auf ein System linearer Differentialgleichungen mit konstanten Koeffizienten zurückführen läßt. Das Verfahren kann man auf auch ortsabhängige Steuerfunktionen erweitern, es ist auf jede Geometrie anwendbar, in der das betreffende stationäre Problem durch Separation lösbar ist.

Physikertagung in Stuttgart

Physikalische Gesellschaft Württemberg-Baden-Pfalz

Die Stuttgarter Frühjahrstagung der Physikalischen Gesellschaft WBP fand vom 27. bis 29. 4. 1961 in Verbindung mit der Diskussionstagung des Deutschen Atomforums statt.

Die Teilnehmer der letzteren Tagung versammelten sich bereits am 26. April zu Vorträgen und Diskussionen über theoretische Fragen des Reaktorbaus und -Betriebs. Am Donnerstag, den 27. April, um 11.30 Uhr, eröffnete der Vorsitzende, *E. Fues* (Stuttgart) im großen Hörsaal des Stuttgarter II. Physikalischen Instituts die Tagung der Gesellschaft mit einem Gedenken an den zu Beginn des Jahres verstorbenen großen Physiker und Menschen *Erwin Schrödinger*. Er schilderte Lebensweg und -Werk des Verstorbenen, dessen Namen mit der Quantenmechanik für alle Zeiten verbunden sein wird. Dankbar erinnerte sich *E. Fues* an seine Arbeitszeit bei *Schrödinger* in Zürich 1925/26, die gerade in die Zeit der vier grundlegenden Abhandlungen zur Quantenmechanik fiel.

Im Anschluß an diese Ehrung wurde durch den Rektor der TH Stuttgart, Professor *H. Brederbeck*, der von der Firma *Richard Seifert u. Co*, Röntgenwerk, für eine in den letzten drei Jahren veröffentlichte Arbeit in deutscher Sprache auf dem Gebiet der Röntgenforschung gestiftete, in diesem Jahr erstmals verliehene *Richard-Glocker*-Preis ausgegeben. In Anwesenheit von *R. Glocker* (Stuttgart) wurde *M. Scheer* (Würzburg) ausgezeichnet.

In einem zusammenfassenden Vortrag berichtete anschließend *V. Gerold* (Stuttgart) über die Methoden zur Sichtbarmachung der Versetzungen. Er zeigte, daß die Versetzungen, einst rein theoretisch erschlossen zum besseren Verständnis der plastischen Verformung, nun mit vielerlei geistreichen Methoden sichtbar gemacht werden können, womit die Theorie ihre glanzvolle Bestätigung durch das Experiment gefunden hat.

Am Freitag, den 28. April, gab es zwei zusammenfassende Vorträge, zur Theorie und zur Struktur der Elementarteilchen. In lebendiger Weise machte *H.-P. Dürr* (München) die Zuhörer mit den Fortschritten der letzten Jahre und den großen Schwierigkeiten der Theorie bekannt, endend mit einer Schilderung der Grundgedanken und der letzten Ergebnisse der *Heisenberg*-schen Theorie. *H. Salecker* (Freiburg) schilderte die wichtigsten Resultate der Streuexperimente zur Erforschung der Ladungsverteilung in den Nukleonen. In Zusammenarbeit mit der Theorie konnte so ein heute schon relativ zuverlässiges Bild über die Wechselbeziehungen zwischen Proton und Neutron gewonnen und eine künftige Einbeziehung von π -Mesonen umrissen werden. Eindrucksvoll waren gezeigte Lichtbilder über existierende und geplante Beschleunigungsanlagen riesigen Ausmaßes in den USA, die hauptsächlich der weiteren Erforschung der Struktur der Elementarteilchen dienen sollen.

Am Sonnabend, den 29. April, sprach *L. Genzel* (Freiburg) zusammenfassend über experimentelle Probleme der Ultrarottechnik. In seinem mit großem Interesse aufgenommenen Vortrag gab er eine klare Übersicht über die verschiedenen Methoden zur Erzeugung und zum Empfang elektrischer Wellen im Ultrarotgebiet, über die experimentellen Möglichkeiten und Schwierigkeiten, sowie über die anhaltende Aktualität dieses schon relativ alten Zweiges der Physik.

Neben den vier zusammenfassenden Vorträgen wurden 36 Kurzvorträge gehalten, ferner die europäische Uraufführung eines amerikanischen Films über die Zwischenzustände in supraleitenden Kristallen durch E. Saur (Gießen) gezeigt. Einen besonders großen Raum innerhalb der Kurzvorträge nahm die Festkörperphysik ein, die allein durch die Stuttgarter Gruppen mit 13 Vorträgen vertreten war.

Im Anschluß an die Kurzvorträge des Donnerstagnachmittag fand die ordentliche Mitgliederversammlung statt, in der insbesondere eine vom Vorstand ausgearbeitete Satzungsänderung (Anpassung an die neuen Verhältnisse) zur Diskussion kam. Als eine der wichtigsten Änderungen wurde nach der Diskussion durch Abstimmung beschlossen, daß jede ordnungsgemäß einberufene Mitgliederversammlung beschlußfähig sein sollte. Die Versammlung selbst war mit 46 anwesenden Mitgliedern am Rande der Beschlußfähigkeit.

Nach der Mitgliederversammlung vereinte ein gemeinsames Abendessen in der Stuttgarter Mensa die Tagungsteilnehmer zu Geselligkeit und persönlichem Gespräch.

Der Besuch der Tagung durch auswärtige Teilnehmer entsprach leider nicht ganz den Erwartungen. Unter etwa 300 in die Teilnehmerlisten eingetragenen Personen, von denen 90 einen Tagungsbeitrag entrichteten (der Rest fiel unter „Studierende“), befanden sich nur etwa 70 Auswärtige. Insbesondere fiel auf, daß zum Sonnabend-Nachmittag trotz interessanter Einzelvorträge fast kein auswärtiger Teilnehmer mehr geblieben war.

E. Fues und E. Kröner, Stuttgart

DONNERSTAG, DER 27. APRIL 1961

Vormittag

E. FUES (Stuttgart): *Erwin Schrödinger zum Gedenken.*

Gedächtnisrede zu Beginn der Frühjahrstagung der Physikalischen Gesellschaft Württemberg-Baden-Pfalz am 27.4.1961 in Stuttgart. Der Text erscheint in den „Naturwissenschaften“.

Zusammenfassender Vortrag

V. GEROLD (Inst. f. Metallphys. am MPI f. Metallforschung, Stuttgart): *Methoden zur Sichtbarmachung von Gitterfehlern.*

Es wird ein Überblick über die Methoden gegeben, mit denen Gitterfehler in Kristallen direkt sichtbar gemacht werden können. Das Feldionenmikroskop ist mit seinem hohen Auflösungsvermögen in der Lage, Oberflächenatome einer sehr feinen Kristallspitze direkt sichtbar zu machen. Versetzungen und Leerstellen können so direkt nachgewiesen werden. Eine andere Methode besteht in der Untersuchung der Struktur sehr sorgfältig auf- oder abgedampfter Kristalloberflächen. Zur Oberfläche durchstoßende Versetzungen geben Anlaß zur Bildung von atomaren Oberflächenstufen, die mit geeigneten Methoden sichtbar gemacht werden können (Dekorationstechnik). Eine dritte wohl am häufigsten angewandte Methode der Oberflächenuntersuchung ist das Anätzen. Liegt die Oberfläche parallel zu dichtgepackten Netzebenen des Kristallgitters, so greift ein Ätzmittel bevorzugt an den gestörten Stellen dieser Netzebenen an, d. h. an den Durchstoßpunkten von Versetzungen. Besonders ausgewählte Ätzmittel sind in der Lage, beim Ätzangriff Versetzungen verschiedenen Typs zu unterscheiden.

Bei durchsichtigen Kristallen kann man die Versetzungsstruktur im Innern der Kristalle optisch sichtbar machen, indem man eine Ausscheidung von in den Kristall eingebrachten Fremdatomen stattfinden läßt. Diese Atome scheiden sich bevorzugt längs den Versetzungslinien aus (innere Dekoration). In den letzten Jahren hat man gelernt, Kristalle bis zu Folien von etwa $0,1\mu$ Dicke abzdünnen, die dann im Elektronenmikroskop durchstrahlt werden können. Infolge des die Versetzungen umgebenden Verzerrungsfeldes entstehen Kontrastunterschiede auf den Aufnahmen, die die Versetzungsstruktur im Innern der Folie erkennen lassen. Diese Methode hat den Vorteil der großen Auflösung und wird daher sehr viel benutzt.

Analog zum elektronenmikroskopischen Verfahren kann man auch mit Röntgenmethoden die Verzerrungsfelder in der Umgebung der Versetzungen sichtbar machen. Der Nachteil der röntgenographischen Verfahren liegt in dem geringen Auflösungsvermögen, so daß sie nur bei Kristallen mit sehr kleiner Versetzungsdichte angewandt werden können ($< 10^4$ Linien/cm²). Der Vorteil solcher Untersuchungen besteht darin, daß man Einblicke in die Versetzungsstruktur erhält, ohne daß Veränderungen der Probe notwendig sind (wie z. B. das Abdünnen oder die innere Dekoration).

Nachmittag

Einzelvorträge

I. BENDER, H. KOPFERMANN und K. SCHLÜPMANN (I. Phys. Inst. d. Univ. Heidelberg): *Präzisionsmessung des g_J -Faktors des $^8S_{7/2}$ -Grundzustandes im ^{151}Eu und ^{153}Eu I-Spektrum mit einer magnetischen Atomstrahlresonanzapparatur.* (Voretr. von I. Bender)

Bei Magnetfeldstärken von 2000 Gauss wurden induzierte magnetische Dipol-Übergänge $m_J = +1/2 \longleftrightarrow m_J = -1/2$, $\Delta m_I = 0$ beobachtet. Aus den gemessenen Übergangsfrequenzen wurde der g_J -Faktor zu $1,99340 \pm 0,00003$ bestimmt.

Zur Magnetfeldgleichung diente der π -Übergang $m_J = 1/2$, $m_I = -1/2 \longleftrightarrow m_J = -1/2$, $m_I = -1/2$ im $^2S_{1/2}$ Grundzustand von ^{107}Ag .

L. S. GOODMAN und K. SCHLÜPMANN (I. Phys. Inst. d. Univ. Heidelberg): *Bestimmung des Grundzustandes im ^{165}Ho I-Spektrum mit einer magnetischen Atomstrahlresonanzapparatur.*

H. BUCKA, H. KOPFERMANN und E. W. OTTEN (I. Phys. Inst. d. Univ. Heidelberg): *Hochfrequenzübergänge im $4p^2P_1$ -Term des Ca I-Spektrums mit Licht- bzw. Elektronenstoßanregung.* (Voretr. von E. W. Otten)

In einer Atomstrahlapparatur wurden die Bedingungen für den Nachweis von Hochfrequenzübergängen zwischen den Zeemanniveaus im 4^3P_1 -Term der geraden Ca-Isotope untersucht.

Zur optischen Anregung aus dem Grundzustand wurde die in einer Hochfrequenzentladung erzeugte Interkombinationslinie $\lambda = 6572 \text{ \AA}$ ($^1S_0 \rightarrow ^3P_1$) dicht vor dem Atomstrahllofen eingestrahlt. Die große Lebensdauer des angeregten Terms ($\tau = 5 \times 10^{-4}$ sek) ermöglichte es, das Resonanzlicht nach einer Flugstrecke der angeregten Atome von ca. 10 cm abzunehmen, wodurch der Untergrund an direkt gestreutem Spiegellicht sehr stark zurückging. Als Resonanzstrahlung trafen 10^7 Lichtquanten pro Sekunde auf den Multiplier auf; sie waren nahezu vollständig polarisiert. Die HF-Übergänge wurden in der üblichen Weise durch Depolarisation der Resonanzstrahlung nachgewiesen.

Bei der Elektronenstoßanregung wurde ein ebenes, großflächiges Elektrodensystem benutzt, das sich an derselben Stelle befand, wo vorher die optische Anregung erfolgte; die Flugrichtung der Elektronen war parallel zum Magnetfeld. Auf dem Multiplier wurden als Resonanzlicht ca. 10^9 Lichtquanten/Sekunde gemessen. Es wurde eine π -Polarisation von maximal 8% bei einer Elektronenenergie von 8 eV beobachtet.

Beide Anregungsmethoden lieferten das gleiche Signalrauschverhältnis für die HF-Übergänge.

H. BUCKA, H. KOPFERMANN und H. H. NAGEL (I. Phys. Inst. d. Univ. Heidelberg): *Über die Lebensdauer des $6p^3P_1$ -Terms im Barium I-Spektrum.* (Vorgetr. von H. H. Nagel)

H. BUCKA, H. KOPFERMANN und G. zu PUTLITZ (I. Phys. Inst. d. Univ. Heidelberg): *Eine Methode zur Anregung von einzelnen Hyperfeinstrukturtermen im tiefsten 3P_1 -Term der Erdalkali I-Spektren.* (Vorgetr. von G. zu Putlitz)

Zur Anregung der Hyperfeinstrukturterme der ungeraden Barium-Isotope im $6p^3P_1$ -Term des Barium I-Spektrums wird das Licht der im natürlichen Isotopengemisch häufiger vertretenen geraden Ba-Isotope benutzt, indem der von den geraden Isotopen in der Lichtquelle emittierten Spektrallinie $\lambda = 7911 \text{ \AA}$ ($6s^1S_0 - 6p^3P_1$), die zur Anregung verwendet wird, eine geeignete Zeeman-Aufspaltung erteilt wird. Die Abhängigkeit der Besetzung der einzelnen Hyperfeinstrukturterme im 3P_1 -Term von der Zeeman-Aufspaltung des anregenden Lichtes wurde durch die Nachweisintensität der Hochfrequenzübergänge $\Delta m_F = \pm 1$, $\Delta F = 0$ für die betreffenden Hyperfeinstrukturterme gemessen.

H. KLEINPOPPEN (Phys. Inst. d. Univ. Tübingen): *Vermessung der Lambshift bei $n = 3$ am Wasserstoff-Atom mit einer Atomstrahl-Resonanzmethode.*

Die Vermessung der Energieverschiebung des $3^2S_{1/2}$ -Zustandes gegenüber dem $3^2P_{1/2}$ -Zustand beim Wasserstoffatom geschah auf folgende Weise: Ein Wasserstoff-Atomstrahl wurde der optischen Strahlung der Wasserstofflinie Lyman- β ausgesetzt, was zur Folge hatte, daß ein gewisser Anteil der Atome die Zustände $3P_{1/2}$ und $3P_{3/2}$ bevölkerte. Gleichzeitig und am selben Ort, an dem die angeregten $3P$ -Zustände erzeugt wurden, wurde HF-Energie eingestrahlt, um im Resonanzfall den Übergang von $3P_{1/2}$ nach $3S_{1/2}$ zu induzieren. Der Nachweis dieses elektrischen Dipolüberganges geschah auf Grund der Messung der relativen Zahl der metastabilen Wasserstoffatome im $2S_{1/2}$ -Zustand, die durch Zerfall des $3P_{1/2}$ -Zustandes in den $2S_{1/2}$ -Zustand erzeugt wurden; bei der Resonanz des Überganges von $3P_{1/2}$ nach $3S_{1/2}$ nahm die Zahl der metastabilen Atome ab, da der $3P_{1/2}$ -Zustand infolge der Übergangsregeln nicht in den metastabilen $2S_{1/2}$ -, sondern in die kurzlebigen $2P$ -Zustände zerfiel. Als Detektor diente der von Lamb und Retherford beschriebene Oberflächendetektor: Die metastabilen Atome schlugen beim Aufprall auf ein Metallblech Elektronen heraus, deren relative Zahl gemessen wurde. Der gemessene Energieabstand zwischen $3^2S_{1/2}$ und $3^2P_{1/2}$ ergab sich in Frequenzeinheiten zu $\nu_{\text{exp}} = (313,6 \pm 5,7) \text{ MHz}$, in Übereinstimmung mit dem theoretisch von Harriman [Phys. Rev. 101, 594 (1956)] bestimmten Wert $\nu_{\text{theor}} = (314.690 \pm 0.047) \text{ MHz}$.

H. W. FAUST und O. LUTZ (Phys. Inst. d. Univ. Tübingen): *Zeeman-Übergänge in den 5^1P_1 - und 6^1P_1 -Termen des Strontiumatoms im schwachen Magnetfeld.* (Vorgetr. von H. W. Faust)

An einem Sr-Atomstrahl wurden in einem Magnetfeld von etwa 20 Oe nach der Doppelresonanzmethode die Hochfrequenzübergänge zwischen den Zeeman-Niveaus der angeregten 5^1P_1 - und 6^1P_1 -Terme vermessen.

Aus den gefundenen Linienbreiten läßt sich durch Extrapolation auf die Hochfrequenzfeldstärke Null die mittlere Lebensdauer der angeregten Terme ermitteln und aus der Lage der Resonanzstelle die g -Faktoren. Aus der mittleren Lebensdauer kann für den Übergang $5^1P_1-5^1S_0$ die Oszillatorenstärke berechnet werden. Die gefundenen Werte sind

5^1P_1 : $T = (9,5 \pm 0,4) \cdot 10^{-9} \text{ s}$, $g = 1$ im Rahmen d. Meßgenauigkeit

6^1P_1 : $T = (3,6 \pm 0,3) \cdot 10^{-8} \text{ s}$, $g = 1,019 \pm 0,009$

und für den Übergang

$5^1P_1-5^1S_0$ $f = 1,01 \pm 0,04$.

G. J. KRÜGER und G. LAUKIEN (I. Phys. Inst. d. TH Stuttgart): *Kernmagnetische Relaxation in Eiskristallen*. (Vorgetr. von G. J. Krüger)

Die kernmagnetische Relaxation der Protonen im Eiseinkristall wurde mit einer Impulsapparatur untersucht.

Aus der Form des Kernsignals hinter einem 90° -Impuls konnte der Proton-Proton-Abstand im Eis zu $1,59 \pm 0,07 \text{ \AA}$ ermittelt werden.

Die Spin-Gitter-Relaxationszeit T_1 wurde in reinen und in HF-dotierten (HF-Konzentration $4,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l}$) Eiseinkristallen gemessen. Die kernmagnetischen Relaxationszeiten der beiden Kristalle unterscheiden sich erheblich weniger als die mechanischen (τ_m). Die kernmagnetisch gemessene Aktivierungsenergie stimmt für den reinen Kristall mit der mechanisch gemessenen innerhalb der Fehlergrenze überein. Die beste Übereinstimmung mit dem Experiment erhält man, wenn man die für den kernmagnetischen Prozeß verantwortliche Korrelationszeit τ_c für reines Eis $= 1/4,5 \tau_m$ und für HF-dotiertes Eis $= 4 \tau_m$ setzt.

Mit diesen Werten wird das Verhältnis $(\tau_m/\tau_c)_R$ im reinen Eis zu $(\tau_m/\tau_c)_{HF}$ im HF-dotierten Eis bei tiefen Temperaturen 18. In der Nähe des Schmelzpunktes ist dieses Verhältnis ungefähr 3,5. Aus Überlegungen über die Fehlstellendiffusion folgt, daß das Verhältnis in der Größenordnung 10 liegen sollte.

M. KÄSS und S. MAGUN (I. Phys. Inst. d. TH Stuttgart): *Zur Überhitzung von Kristallen*. (Vorgetr. von M. Käss)

Kristalloberflächen lassen sich nicht über den Schmelzpunkt erwärmen. Bei den üblichen Schmelzpunktbestimmungen durch Wärmezuleitung sind deshalb im Kristallinnern auch keine höheren Temperaturen zu erreichen, wogegen direkte Energiezufuhr in den Kristall unter Umgehung der Oberflächen dies möglich macht.

Die Temperaturbestimmung bereitet besondere Schwierigkeiten bei Überhitzungsversuchen an der festen Phase. Jede eingeführte Meßsonde wird vom Kristallinnern durch eine neue Oberfläche getrennt, deren Überhitzung erfahrungsgemäß nicht gelingt. Die Temperatur des überhitzten Kristalls muß daher ohne Störung des Gitters gemessen werden.

An eine frühere Arbeit anschließend (G. J. Krüger, Diplom-Arbeit, TH Stuttgart 1956) erhitzen wir Eis homogen im el. Hochfrequenzfeld bei 10 MHz. Der durch die eingefrorene Lötstelle eines Thermoelements gemessene Temperaturanstieg unterhalb 0°C wurde bis zu dem Zeitpunkt extrapoliert, bei dem in vorher ungestörtem Eis die nach J. Tyndall benannten inneren Schmelzfiguren entstanden. Die erreichten Überhitzungen betrugen bis zu $0,3^\circ\text{C}$.

Das Wachstumsverhalten der Tyndallfiguren läßt sich befriedigend nur durch Überhitzung des umgebenden Eises erklären.

Mitgliederversammlung

Tagesordnung

1. Bericht des Vorsitzenden über das abgelaufene Geschäftsjahr
2. Kassenbericht
3. Entlastung des Schatzmeisters
4. Satzungsänderung (Anpassung der veralteten Fassung vom Jahr 1953 an die neuen Verhältnisse)
5. Ort der nächsten Tagung
6. Verschiedenes

FREITAG, DER 28. APRIL 1961

Vormittag

Zusammenfassende Vorträge

H.-P. DÜRR (MPI f. Phys., München): *Zur Theorie der Elementarteilchen.*

Die experimentellen Ergebnisse der Elementarteilchenphysik lassen sich im wesentlichen aus den Quanteneigenschaften der Materie, der Umwandlungsfähigkeit der Elementarteilchen, dem kausalen Charakter ihrer Wechselwirkung und der Existenz von Erhaltungssätzen bei ihren Reaktionen verstehen. Diese Eigenschaften bilden die gemeinsame Grundlage der verschiedenen Elementarteilchentheorien. Es wurde die konventionelle Methode der Beschreibung von Elementarteilchen durch einen Satz verkoppelter Feldgleichungen skizziert und auf die konkreten und prinzipiellen Schwierigkeiten dieser Methode eingegangen. Die S-Matrixtheorie unter Einschluß der Dispersionsrelationen wurde in diesem Zusammenhang kurz gestreift. Das *Sakata-Nagoya*-Modell der Elementarteilchen, die Vektorthorie von *Sakurai*, das Supraleitermodell von *Nambu* und die nichtlineare Spinortheorie von *Heisenberg* wurden als typische Vertreter besprochen.

H. SALECKER (Inst. f. theor. Phys. der Univ. Freiburg): *Struktur der Elementarteilchen.*

Einzelvorträge

H. BLUME und *P. BRAUER* (Phys. Inst. d. Univ. Freiburg): *Das Abklingen der Lumineszenz von NaJ.Tl und CsJ.Tl und dessen Messung mit einem neuen Fluorometer bei optischer Anregung.* (Vorgetr. von *H. Blume*)

Die auffallende Tatsache, daß bei Erregung mit energiereicher Strahlung die Ausbeute und Abklingdauer der Lumineszenz Tl-aktivierter Alkalihalogenide mit wachsender Erregungsdichte abnehmen, hat uns veranlaßt, mit einem neuen Meßverfahren die Abklingzeit bei *optischer Anregung*, also bei direkter Anregung der Tl-Zentren selbst, zu messen. Trotz der viel geringeren Erregungsdichte im Vergleich zur Teilchen- oder γ -Erregung fanden wir für NaJ.Tl und CsJ.Tl Abklingzeiten, die kürzer als bei γ -Erregung und von der Erregungsdichte unabhängig sind. Zur Deutung dieses Sachverhalts könnte man annehmen, daß bei Erregung mit energiereicher Strahlung die angeregten Tl-Zentren über Zwischenprozesse erzeugt werden, die nach einem Reaktionsgesetz von höherer als erster Ordnung ablaufen.

Die Abklingzeiten von NaJ.Tl und CsJ.Tl mit 0,13 bzw. 0,5 μ s liegen in dem bei optischer Anregung bisher schwer zugänglichen Gebiet von 10^{-7} bis 10^{-5} s, für das wir nun ein Fluorometer haben entwickeln können, das beschrieben wurde.

P. BRAUER und M. KOLB (Phys. Inst. d. Univ. Freiburg, Freiburg/Br.): *Über das Herstellen von Alkalihalogenid-Thallium- und Calciumchlorid-Thallium-Leuchtstoffen nach dem Anreibverfahren.* (Vorgetr. von M. Kolb)

Der Aktivierungsprozeß bei Alkalihalogenid-Thallium- und Calciumchlorid-Thallium-Leuchtstoffen, die nach dem „Anreibverfahren“ von Schleede bzw. Hutten und Pringsheim hergestellt werden, wurde untersucht. Es zeigte sich, daß bei sorgfältigem Ausschluß von Wasserdampf und adsorbiertem Wasser sich keine $\text{KCl}\cdot\text{Tl}$ - und $\text{CaCl}_2\cdot\text{Tl}$ -Leuchtstoffe anreiben lassen und daß hierzu vielmehr ein endlicher, meßbarer H_2O -Dampfdruck nötig ist. Dieser ist wenig niedriger als der Dampfdruck über der entsprechenden gesättigten wässrigen Lösung. Das Wasser scheint als Lösungsmittel in dem Sinne zu wirken, daß es die für die Bildung von Lumineszenzzentren nötigen Umbauvorgänge ermöglicht. Dafür spricht auch die Beobachtung, daß bei dem System $\text{KJ}\cdot\text{Tl}$ eine entsprechende Wirkung mit Methylalkohol statt Wasser erreicht werden konnte.

B. FRITZ (II. Phys. Inst. d. TH Stuttgart): *Störung der infraroten Absorption von KCl- und KBr-Einkristallen durch negative Wasserstoffionen auf regulären Gitterplätzen und Zwischengitterplätzen.*

Es wurde die Überführung von H-Ionen auf Zwischengitterplätze im System $\text{KBr} + \text{KH}$ bei tiefen Temperaturen mit Infrarotspektroskopie untersucht. Bekanntlich führt die Bestrahlung mit ultravioletem Licht bei $T \leq 90^\circ\text{K}$ in dieser Substanz zur Bildung von Anion-Gitterlücken (gestörte Exzitonenabsorption, α -Bande) aus den KH -Gitterzellen (U-Zentren). Die U-Zentren verleihen dem Kristall außerdem eine infrarote Störabsorption bei $22,5\mu$ [G. Schaefer, J. Phys. Chem. Solids 12; 233 (1960)]. Ultraviolett-Bestrahlung und Absorptionsmessung bei 20°K liefert folgende Ergebnisse:

Anion-Lückenbildung ist mit Abbau der KH -Bande bei $22,5\mu$ und Aufbau einer feinstrukturierten Bande bei $12,6\mu$ verbunden. Bestimmte Liniengruppen bei $12,6\mu$ verschwinden jeweils zusammen mit einem Teil der Anionlücken unter Wiederentstehung von U-Zentren, wenn man den Kristall über die Bestrahlungstemperatur erwärmt. Die Aktivierungstemperaturen für solche Prozesse sind 105°K , 150°K und 210°K .

In $\text{KCl} + \text{KH}$ liegt bei gleichen Herstellungsbedingungen ein ähnliches Spektrum bei $11,8\mu$ (KH -Bande $\text{KCl}\cdot 20\mu$).

Die beschriebenen Banden bei $12,6\mu$ (KBr) und $11,8\mu$ (KCl) werden als Schwingungsabsorption von H-Ionen auf Zwischengitterplätzen gedeutet.

W. GEBHARDT (II. Phys. Inst. d. TH Stuttgart): *Die Änderung der Wärmeleitung von KBr-Einkristallen bei Helium-Temperaturen nach Lückenbildung.*

In KBr -Einkristallen wurden auf zwei verschiedene Weisen Anionenlücken gebildet: 1) durch Röntgenbestrahlung von reinem KBr bei 5°K , 2) durch UV-Bestrahlung des Systems $\text{KBr} + \text{KH}$ (mit 3×10^{17} H-Ionen/ cm^3). Im zweiten Fall wird die U-Bande (opt. H-Absorption bei $224\text{m}\mu$) abgebaut, und es werden Anionenlücken plus H-Zwischengitterionen gebildet. Im ersten Fall entstehen im Wesentlichen Lücken (opt. Absorption bei $202\text{m}\mu$, genannt α -Bande). Über den Verbleib der Br^- -Ionen ist bisher nichts bekannt. Die Annahme, daß sich Br^- -Zwischengitterionen bilden, die nur bis $T = 25^\circ\text{K}$ stabil sind, wird durch folgende Versuche gestützt. Beide Reaktionen werden durch gleichzeitige optische Absorptions- und Wärmeleitungsmessungen verfolgt und aus der Abnahme der Wärmeleitfähigkeit die Phononenstreuquerschnitte q_1 und q_2 für die Streuung an den gebildeten Störstellen im Fall 1 und 2 abgeschätzt. Dabei wird von dem bekannten Streuquerschnitt q_F für F-Zentren (Anionenlücke plus Elektron) aus Messungen

an additiv verfärbten Kristallen Gebrauch gemacht [R. O. Pohl, Phys. Rev. 118, 1499 (1960)]. q_F sollte sich vom Streuquerschnitt für Anionenlücken nur wenig unterscheiden. Man findet für die 1. Reaktion $q_1/q_F \approx 100$, für die 2. Reaktion $q_2/q_F \approx 5$. q_1 kann also nicht durch Lücken verursacht werden. Der Schluß ist naheliegend, daß der ungewöhnlich große Effekt im Falle 1, der bei Lückenbildung durch Röntgenbestrahlung oberhalb 25 °K nicht auftritt, von Br-Zwischengitterionen herrührt. Aus Aufheizkurven findet man eine Aktivierungsenergie für Lücke plus Br-Zwischengitterion in nächster Nachbarschaft von $\varepsilon \approx 0,04$ eV.

H. GROSS (II. Phys. Inst. d. TH Stuttgart): *Paramagnetische Elektronenresonanzuntersuchungen am M-Zentrum in KCl*.

Bestrahlt man F-Zentren in Alkalihalogeniden bei Zimmertemperatur mit Licht von der Wellenlänge ihrer Absorptionsbande, so wandeln sie sich in eine Reihe von Folgezentren um; das erste dieser Folgezentren ist das M-Zentrum. Es wird gezeigt, daß dieses Störzentrum kein meßbares Elektronenspinresonanz-(ESR-)Signal liefert. Hierzu werden drei voneinander unabhängige Meßmethoden besprochen:

1) Die aus ESR-Absorptionsmessungen bestimmbare Spindichte wurde mit der optisch gemessenen F-Zentren-Konzentration vor und nach der M-Umwandlung verglichen.

2) Kristalle mit ausgerichteten M-Zentren wurden auf eine Anisotropie ihrer ESR untersucht.

3) ESR-Dispersionssignale wurden bei verschiedenen Mikrowellenleistungen gemessen und analysiert. Keine dieser Messungen lieferte einen Anhaltspunkt für die Existenz einer ESR des M-Zentrums, so daß das M-Zentrum mit großer Wahrscheinlichkeit als diamagnetisch zu betrachten ist. Dieses Resultat spricht gegen das M-Zentren-Modell von Seitz und Knox, das nur ein einziges Elektron enthält; es läßt sich aber gut mit dem von van Doorn-Haven und Pick vorgeschlagenen Zwei-Elektronen-Modell vereinbaren.

Nachmittag

H. RIEGER, H. KRONMÜLLER und A. SEEGER (Inst. d. theor. und angew. Phys. d. TH und MPI f. Metallforschung, Stuttgart): *Magnetische Untersuchungen an verformten bzw. neutronenbestrahlten Nickeleinkristallen*. (Vorgetr. von H. Rieger).

Zur Untersuchung von Gitterfehlstellen, die durch Verformung oder durch Bestrahlung mit schnellen Neutronen erzeugt werden, sind an Nickeleinkristallen magnetische Messungen durchgeführt worden.

Aus den Änderungen der Koerzitivkraft, der Anfangspermeabilität und der reversiblen Permeabilität in Abhängigkeit von der Feldstärke bis 2500 Oe, sowie aus dem Temperatur- und Anlaßverhalten dieser Größen können Schlüsse auf die Art der Gitterfehler, welche dieser Meßgrößen beeinflussen, gezogen werden.

So wird z.B. gefunden, daß sich bei der Temperung von verformten Nickeleinkristallen die Koerzitivkraft erst bei höheren Temperaturen erholt als die reversible Permeabilität im Gebiet der ferromagnetischen Sättigung. Dies kann durch die Annahme erklärt werden, daß das Einmündungsgesetz sowohl von der Zahl der Versetzungen als auch von deren Anordnung in Versetzungsgruppen abhängig ist, die Koerzitivkraft dagegen hauptsächlich durch die Zahl der Versetzungen bedingt wird.

E. MANN und R. v. JAN (Inst. f. theor. u. angew. Phys. d. TH u. MPI f. Metallforschung Stuttgart): *Theoretische Untersuchungen über Zwischengitteratome in Kupfer*. (Vorgetr. von E. Mann)

Für die Lage eines Zwischengitteratoms in einem kubisch-flächenzentrierten Kristall sind verschiedene Möglichkeiten denkbar. Für jede dieser Lagen wurden die Bildungsenergie, die Volumenausdehnung und die Gitterverzerrungen berechnet. Nach dem zugrundeliegenden Verfahren wird der Kristall aufgeteilt in einen die Fehlstelle enthaltenden atomistischen Bereich von wenigen Atomabständen Durchmesser und einen daran anschließenden elastischen Bereich. Im letzteren werden die Verschiebungen und die Energie elastisch angesetzt, im atomistischen Bereich werden beliebige Verschiebungen der Atome zugelassen; die Energie dieses Bereichs setzt sich aus verschiedenen Beiträgen zusammen, von denen bei den Edelmetallen die Abstoßungsenergie benachbarter Ionenrümpfe (*Born-Mayer-Potential*) den Hauptanteil bildet. Die Bildungsenergie bestimmt man als das Energieminimum bei Variation der Verschiebungsparameter. Als stabile Lage für ein Zwischengitteratom in Kupfer ergibt sich die sog. Hantellage mit tetragonalen Symmetrie; die Bildungsenergie beträgt etwa 2,8 eV, die Wanderungsenergie 0,5 eV (gemessen 0,6 eV) und die Volumänderung des Kristalls 1,4 Atomvolumen.

P. SCHILLER (Inst. f. theor. u. angew. Phys. d. TH u. MPI f. Metallforschung Stuttgart): *Untersuchungen zum Zwischengitteratom im Nickel mit Hilfe der inneren Reibung*.

Theoretische Untersuchungen haben ergeben, daß die stabile Lage des Zwischengitteratoms in kubisch-flächenzentrierten Metallen nicht im Würfelmittelpunkt, sondern in der Nähe eines leicht aus seinem Platz verschobenen Flächenmittelpunkts ist. Eine solche Anordnung mit tetragonalen Symmetrie müßte sich als mechanische Relaxation bemerkbar machen. Messungen an verformten Ni-Drähten ergaben bei Frequenzen zwischen 0,2 und 1 Hz im Temperaturintervall von 85 bis 100 °C ein Dämpfungsmaximum, das sich zusammen mit magnetischen Experimenten dem Zwischengitteratom zuschreiben läßt. Die Ergebnisse lassen sich durch eine Arrheniusgleichung

$$\tau = \tau_0 e(Q/kT) \text{ mit den Konstanten } \tau_0 = 2,6 \cdot 10^{-12} \text{ s, } Q = 0,81 \text{ eV}$$

zusammenfassen. Das interessierende Maximum heilt bei etwa 130 °C aus.

W. SCHÜLE, A. SEEGER, F. RAMSTEINER, D. SCHUMACHER und K. KING (Inst. f. theor. u. angew. Phys. d. TH u. MPI f. Metallforschung, Stuttgart): *Untersuchungen atomarer Fehlstellen in Edelmetallen mit Hilfe des elektrischen Widerstand*. (Vorgetr. von W. Schüle)

Kupfer, Silber und Gold wurden von Temperaturen zwischen 700° und wenig unterhalb ihrer Schmelztemperatur so schnell in Wasser abgeschreckt, daß Leerstellen oder Leerstellenagglomerate, die bei diesen Temperaturen im thermischen Gleichgewicht sind, eingefroren wurden. Durch Anlassen zwischen Temperaturen von -40 und +250 °C heilen die eingefrorenen Leerstellen oder Leerstellenagglomerate wieder aus und ihre Wanderungsaktivierungsenergie und ihre Kinetik konnten bestimmt werden.

Durch Bestrahlen oder Verformen bei tiefen Temperaturen werden bei Metallen verschiedenartige atomare Fehlstellen erzeugt, die beim Anlassen in fünf Temperaturbereichen, die Erholungsstufen genannt werden, wieder ausheilen. Kupfer, Silber und Gold wurden bei etwa -100 °C verformt und mit Hilfe von Anlaßkurven wurde zwischen -40 und +250 °C (Stufe III und IV) die Wanderungsaktivierungsenergie von Fehlstellen, die in diesem Temperaturbereich ausheilen, bestimmt und deren Kinetik beim Ausheilen verfolgt. Bei Kupfer und Silber wurde für Stufe IV dieselbe Wanderungsaktivierungsenergie wie nach dem Abschrecken gefunden. Daraus kann geschlossen wer-

den, daß in Stufe IV Leerstellen wandern und ausheilen. In Gold konnte Stufe IV meßtechnisch nicht erfaßt werden. Die Wanderungsaktivierungsenergien der drei Metalle von Stufe III wurden bestimmt und gefunden, daß diese Werte auch nicht mit den nach dem Abschrecken für Doppelleerstellen bestimmte Wanderungsaktivierungsenergie übereinstimmt. Es wird daher angenommen, daß in Stufe III Zwischengitteratome ausheilen.

V. RAO (Inst. f. Angew. Phys. d. Univ. Tübingen): *Eine kornlose Interferenzfilterplatte zur Registrierung von Röntgen-, Elektronen- und Ionenbildern.*

Es ist bekannt, daß organische Substanzen wie z. B. Nitrozellulose bei Bestrahlung mit Elektronen ihre Massendicke verringern. Nach Untersuchungen in unserem Institut tritt derselbe Effekt auch bei Bestrahlung von Nitrozelluloseschichten mit Ionen- und Röntgenstrahlen ein. Dieses Prinzip wird benutzt, um kornlose Interferenzfilterplatten zur Registrierung von Elektronen-, Ionen- und Röntgenbildern herzustellen.

Auf eine Glasplatte wird eine teildurchlässige Ag-Schicht aufgedampft und darüber eine Kollodiumschicht gegossen. Diese gleichmäßige Kollodiumschicht dient als Dielektrikum eines Interferenzlinienfilters. Die Konzentration des in Butylacetat gelösten Kollodiums ist so eingestellt, daß das Durchlässigkeitsmaximum des Filters in das rote Spektralgebiet fällt. Das Objekt wurde zur Aufnahme seines Kontakt-Schattenbildes auf die Kollodiumschicht gelegt und bestrahlt. Nach Entfernung des Objekts von der Oberfläche wird zur Vervollendung des Filters eine zweite teildurchlässige Ag-Schicht aufgedampft. Das Maximum der spektralen Durchlässigkeit ist an den bestrahlten Stellen nach kurzen Wellenlängen hin verschoben. Diese Farbverschiebung ist von der Durchlässigkeit des Objekts für die abbildende Strahlung abhängig. Das Bild des Objekts wird infolge des entstandenen Farbkontrastes sichtbar.

R. BUHL (Inst. f. Angew. Phys. der Univ. Tübingen): *Elektronen-Dreistrahlinterferenzen mit elektrostatischen Biprismen.*

Die Phasenbeeinflussung von Elektronenwellen durch Materieschichten wurde bisher aus Messung der Verschiebung von Zweistrahl-Interferenzstreifen bestimmt. Die Messung der Streifenverschiebung von Zweistrahl-Interferenzen ist jedoch nur mit begrenzter Genauigkeit möglich. Bekanntlich ergibt ein Interferenzfeld von Dreistrahlinterferenzen eine erheblich höhere Meßgenauigkeit [E. Menzel, *Optik* 14, 151 (1957) dort weitere Literaturhinweise]. Es wurde über Versuche berichtet, Dreistrahlinterferenzen mit zwei elektrostatischen Biprismen zu erzeugen. Die beiden Biprismen werden in möglichst kleinem Abstand eingebaut und die Biprismafäden an Potential gleichen Vorzeichens gelegt. Die Fäden werden in entgegengesetzten Richtungen aus der Mittellage verschoben, so daß die Ablenkung eines in der Mitte hindurchtretenden Bündels aufgehoben wird. Die Anordnung soll im Elektronen-Interferenzmikroskop zur Bestimmung innerer Potentiale von Materieschichten benutzt werden.

E. KRIMMEL und F. LENZ (Inst. f. Angew. Phys. d. Univ. Tübingen): *Interferenzen eines Elektronen-Wellenfeldes nach Passieren einer magnetischen Vierpollinse. (Vorgetr. von F. Lenz)*

Mittels einer magnetischen Quadrupollinse wurden mehrere (zwei bzw. drei) Teile desselben Elektronen-Wellenfeldes einander kohärent überlagert und die entstehenden Interferenzerscheinungen beobachtet. Das Wellenfeld hinter der Quadrupollinse besitzt eine Kaustik, innerhalb und außerhalb deren die beobachtete Intensitätsverteilung in guter Übereinstimmung mit der theoretisch zu erwartenden gefunden wurde. Es läßt sich zeigen, daß bei

kohärenter Ausleuchtung die Intensitätsverteilung in der Nachbarschaft jedes regulären Kaustikpunktes durch dasselbe Airy-Integral („Regenbogenintegral“) beschrieben wird, wobei der Abstand der Maxima und Minima nur von der Wellenlänge und dem Unterschied der Krümmungen der tangierenden Bahn und des von ihr tangierten Krümmungskreises der Kaustik abhängt. Eine ausführliche Darstellung erscheint in Z. Phys. 163, 339 (1961).

H. SEILER (Inst. f. Angew. Phys. d. Univ. Tübingen): *Elektronenausbeute bei Lithium-Ionenbeschuß von Bildwandlerflächen.*

Die Elektronenausbeute beim Beschuß einer V2A-Platte mit Lithium-Ionen von 20 bis 80 keV wurde in einem Vakuum von 10^{-4} Torr bestimmt. Sie steigt bei einem Einschußwinkel von etwa 45° von 2,5 Elektronen/Ion bei 20 keV bis 4 bei 70 keV. Die Elektronenausbeute von Lithium-Ionen in Durchstrahlung (Anzahl der an der Folienunterseite ausgelösten Elektronen pro auf die Folie auftreffendes Ion) wurde an dünnen Kohlenstoff- und an mit Silber bedampften Kohlenstoff-Folien gemessen. Dazu werden die an der Folienunterseite ausgelösten Elektronen in einem Immersionsobjektiv beschleunigt und der engste Querschnitt des dabei entstehenden Bündels mit einer Linse in einen Faraday-Käfig abgebildet. Die Elektronenausbeute hängt von der Energie der Ionen und der Foliendicke ab und liegt zwischen 1 bei einer mit 1050 AE Silber bedampften Kohlenstoff-Folie von 250 AE Dicke bei 40 kV und 4 bei einer mit 380 AE Silber bedampfte Kohlenstoff-Folie von 250 AE Dicke bei 80 kV. Durch Extrapolation der Ausbeutekurven folgt die Reichweite der Lithium-Ionen in Silber. Sie steigt von 600 AE bei 10 kV auf 2300 AE bei 80 kV.

M. KELLER (Inst. f. Angew. Phys. d. Univ. Tübingen): *Elektroneninterferometrische Messung des inneren Potentials.*

In dem Elektronen-Zweistrah-Interferometer, das ein elektrostatisches Biprisma zur Strahlumlenkung enthält, wirkt eine stufenförmige Aufdampfschicht als phasenschiebendes Objekt. Der elektronenoptische Brechungsindex und damit das innere Potential des Objektmaterials ergibt sich aus der Verschiebung der Interferenzstreifen. Die Vorteile des Interferometers sind die geringe Objektbelastung und die Möglichkeit, eine große Anzahl von Interferenzstreifen zur Messung zu benutzen. Ohne Objekt war ein Interferenzfeld mit 2000 Streifen erreichbar. Die inneren Potentiale mehrerer Materialien sind gemessen worden. Der empfindliche Strahlengang kann auch zum Nachweis von Kontaktspannungen dienen.

SONNABEND, DER 29. APRIL 1961

Vormittag

Zusammenfassender Vortrag

L. GENZEL (Phys. Inst. d. Univ. Freiburg): *Neuere Methoden und Probleme der Spektroskopie im fernen Ultrarot.*

Es wurde zunächst eine Übersicht über die dem fernen Ultrarot eigentümlichen experimentellen Methoden gegeben. Dabei kamen besonders zur Sprache die augenblicklich diskutierbaren Möglichkeiten neuer Strahlquellen neben dem thermischen Strahler (Hg-Bogen), so z.B. Frequenz-Harmonische von Mikrowellenstrahlern, Maser-Möglichkeiten, die Strahlung beschleunigter Elektronen.

Zur Frage der spektralen Zerlegungsmethoden im fernen UR wurde die *Fourier-Methode* (Interferenz-Modulation) ausführlicher behandelt unter Hinweis darauf, daß dieses Verfahren z. Zt. die optimalste Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Strahlungsintensität gewährleistet und gleichzeitig die Möglichkeit großen Auflösungsvermögens in sich birgt.

Der zweite Teil des Vortrages behandelte eine Reihe von physikalischen Fragestellungen, die besonders oder ausschließlich im fernen UR bearbeitet werden können: So z. B. das Problem der Kristallgitter-Spektren von Ionenkristallen im Zusammenhang mit der Theorie von *Born* und *Huang*, die Freie-Ladungsträger-Absorption in Halbleitern, Zyklotron-Resonanz, Supraleitung zwischen Hochfrequenz und optischem Bereich.

Einzelvorträge

E. SAUR (Inst. f. angew. Phys. d. Univ. Gießen): *Über Supraleitung von Legierungen mit extrem hohen kritischen Feldstärken und Möglichkeiten zu ihrer technischen Anwendung.*

In früheren Arbeiten [*H. G. Jansen* und *E. Saur*, Proc. VIIth Intern. Conf. Low Temp. Phys. Toronto 1960, S. 379, *H. G. Jansen*, ZS. f. Phys. 162, 275 (1961)] wurde gezeigt, daß bei Legierungen des Systems Nb-Sn mit Zusammensetzungen von 50 bis 90 At% Nb Supraleitung mit Sprungpunkten nahe bei 18 °K auftritt, wie sie *Matthias* und Mitarbeiter bereits vor Jahren für die intermetallische Verbindung Nb₃Sn beobachtet haben. Messungen der kritischen Magnetfelder im Temperaturgebiet des flüssigen Wasserstoffs bis herab zu 14 °K ließen auf extrem hohe kritische Feldstärken bei Helium-Temperaturen schließen.

Die Messung der kritischen Magnetfelder von Nb-Sn-Sinterlegierungen mit Zusammensetzungen innerhalb des oben genannten Bereichs ergab bei 4,2 °K extrem hohe kritische Feldstärken von 20 kOe und höher. Bei diesen Feldstärken werden größere Bereiche der Proben sprunghaft normalleitend. Diese Feldstärken sind wesentlich höher als die von *Bozorth* und Mitarbeitern [Phys. Rev. Letters 5, 148 (1960)] für im Lichtbogenofen geschmolzene Nb₃Sn-Proben genannten Werte. Der beobachtete sprunghafte Übergang größerer Bereiche in den normalleitenden Zustand ist in Übereinstimmung mit Beobachtungen von *DeSorbo* [Proc. VIIth Intern. Conf. Low Temp. Phys. Toronto S. 367 (1960)] über den Zwischenzustand der harten Supraleiter Ta und Nb, was durch Vorführung eines von *DeSorbo* aufgenommenen Filmes veranschaulicht wurde.

Verfahren zur Herstellung von Spulen und anderen Bauelementen aus Nb-Sn-Legierungen wurden beschrieben.

G. MÖLLENSTEDT und *R. SPEIDEL* (Inst. f. Angew. Phys. d. Univ. Tübingen): *Ein ionenoptisches Verfahren zur Herstellung und Vervielfältigung von feinen Netzen.* (Voretr. von *R. Speidel*)

Aus der Vielzahl der Anwendungsmöglichkeiten dieses ionenoptischen Verfahrens soll an dem Beispiel der Herstellung und Vervielfältigung von Netzen der Ablauf der einzelnen Arbeitsprozesse gezeigt werden.

Durch einen engen Spalt wird ein schmales Ionenbündel ausgeblendet, welches auf einer Glasplatte mit aufgedampfter Cu-Schicht einen Kohlenwasserstoff-Polymerisatstreifen erzeugt. Durch einen Präzisionsverschiebemechanismus mit Interferometerkontrolle läßt sich der Spalt verschieben und senkrecht zur ersten Richtung stellen. Auf der verkupferten Glasplatte werden in einer Chlorgasatmosphäre die von der Kohlenwasserstoff-Polymerisatschicht freien Stellen weggeätzt. Übrig bleibt ein Metallnetz mit Polymerisatüberzug, welches galvanisch verstärkt wird und sodann leicht von der Unterlage abgelöst werden kann.

Zur Vervielfältigung dieses Originals wird das Netz auf eine versilberte Glasplatte gelegt und gleichmäßig mit Ionen beschossen. Bei der anschließenden Verkupferung und Versilberung erhält man eine galvanische Verstärkung an den von Kohlenwasserstoff-Polymerisaten freien Stellen. Die scharf gezeichnete Kopie des Netzes kann nun leicht von der Glasplatte abgezogen werden. Die Maschen sind dabei frei von Kohlenwasserstoff-Polymerisaten, da diese durch den Ionenbeschuß fest auf der Glasunterlage haften und daher beim Abziehen des Netzes dort zurückbleiben.

G. MÖLLENSTEDT und W. BAYH (Inst. f. Angew. Phys. d. Univ. Tübingen): *Elektronen-Biprisma-Interferenzen mit weit getrennten kohärenten Teilbündeln.* (Vorgetr. von W. Bayh)

Das elektronenoptische Biprisma bildet das Grundelement sowohl in Elektroneninterferometern als auch in Elektroneninterferenzmikroskopen. Aus Gründen der Kohärenz darf der Biprismafaden nur einen Durchmesser von wenigen μ haben. Deshalb sind in den mit einem Biprismafaden arbeitenden Anordnungen die kohärenten Teilbündel ebenfalls nur um wenige μ getrennt. Die hier beschriebene Anordnung benutzt zur weiteren Auftrennung statt eines positiven Biprismas drei untereinander angeordnete Biprismen. Das oberste Biprisma liegt zur Auftrennung des einfallenden Bündels auf negativem Potential. Die getrennten Teilbündel werden mit Hilfe des mittleren positiven Biprismas wieder übereinandergelenkt. Das unterste Biprisma liegt an negativer Spannung und ermöglicht eine Vergrößerung des Streifenabstandes. Der größte Abstand der Teilbündel hängt von der Spannung am obersten Biprisma und vom Abstand desselben vom mittleren Biprisma ab. Bisher konnten Interferenzstreifen bei Auftrennungen bis 60μ beobachtet werden.

G. GOLDBACH (Telefunken GmbH, Röhrenwerk, Ulm): *Durch Elektronenbeschuß bewirkte Wolframwanderung in hoch erhitztem Al_2O_3 auf Wolframunterlage.*

Von Metson und Mitarbeitern [Proc. I. E. E. 102, 678 (1955)] im Zusammenhang mit der Deutung elektrischer Durchschläge zwischen Brenner und Kathodenhülse indirekt geheizter Kathoden in Elektronenröhren geäußerte Hypothese, daß von der Kathodenhülse ausgehende Elektronen in der Lage sein sollen, vom Wolframbrenner Atome loszuschlagen, die in die Al_2O_3 -Isolierschicht eindiffundieren können, wurde direkt experimentell geprüft. Dazu wurde ein mit ca. $100 \mu Al_2O_3$ bedecktes Wolframband auf mindestens $1400^\circ K$ erhitzt und mit einem Elektronenstrahl von einigen 100 eV Energie und einer Dichte von einigen $100 \mu A/cm^2$ bei einem Vakuum von etwa 10^{-6} Torr beschossen. Nur wenn sich in Richtung des Elektronenstrahls in Nähe des Brenners eine gegenüber dem Brenner negative Elektrode befand, konnte nach einigen Minuten eine Abscheidung elementaren Wolframs im Al_2O_3 nachgewiesen werden. Die entstandene lokale Schwärzung hatte die Dimension des Elektronenstrahlquerschnitts. Aus den Messungen ergab sich eine Temperaturabhängigkeit des Schwärzungsgrades nach dem Gesetz:

$$\text{Relative Schwärzung } S = -A/T + B, \quad (A, B = \text{konst.}),$$

während die Abhängigkeit von der Strahlstromstärke linear zu sein scheint. Aufgrund der bisherigen Ergebnisse wird angenommen, daß die Wolframablösung über ein Wolframoxyd als Zwischenprodukt abläuft und daß die im Al_2O_3 wandernden Teilchen positiv geladene Ionen sind. Eine genauere Deutung des Abscheidungsmechanismus wird jedoch erst möglich sein durch quantitative Bestimmung der abgeschiedenen Wolframmenge, z. B. mittels radiochemischer Methoden, in Abhängigkeit auch von weiteren Parametern wie Elektronenenergie, Bestrahlungszeit, Spannung der Zusatzelektrode und O_2 -Partialdruck in der Apparatur.

W. ORT (Inst. f. theor. Phys. d. TH Karlsruhe): *Widerstandsverhalten sehr dünner Wismutschichten bei Adsorption von Sauerstoff.*

H. MERZ und K. ULMER (Phys. Inst. d. TH Karlsruhe): *Bestimmung des Spektrums einer ultraweichen Röntgenstrahlung aus Absorptionsmessungen.* (Vorgetr. von H. Merz)

Die Strahlung wird mit einer Ionisationskammer nachgewiesen und der Ionisationsstrom als Funktion des Gasdrucks in der Kammer gemessen. Er läßt sich darstellen als Laplace-Transformierte einer Funktion, die in einfacher Weise mit dem Spektrum der Röntgenstrahlung zusammenhängt. Es wurden die Bedingungen angegeben, die an das Füllgas der Ionisationskammer, insbesondere an den spektralen Verlauf seines Absorptionskoeffizienten zu stellen sind, damit eindeutig vom Ionisationsstrom auf das zu bestimmende Spektrum zurückgeschlossen werden kann.

Mit dieser „Absorptionsanalyse“ wurde die Strahlung untersucht, die beim Auftreffen von 78 eV-Elektronen auf Wolfram entsteht. Zwei Maxima im Spektrum wurden diskutiert.

F. BAUMANN (Phys. Inst. d. TH Karlsruhe): *Lichtelektrische Messungen an stark gestörten Zinn-, Blei- und Cadmiumschichten.*

Nachmittag

E. LIPPERT, H. BOOS, W. LÜDER und W. VOSS (Labor. f. Phys. Chemie d. TH Stuttgart): *Anomale Effekte in den Fluoreszenzspektren einiger aromatischer Verbindungen.*

K. BIER und O. HAGENA (Kernforschungszentrum Karlsruhe, Inst. f. Kernverfahrenstechnik d. TH Karlsruhe): *Die Bedeutung von Verdichtungsstößen bei der Erzeugung intensiver Molekularstrahlen mit Düsen.* (Vorgetr. von K. Bier)

Intensive Molekularstrahlen mit weitgehend einheitlicher Teilchengeschwindigkeit lassen sich bekanntlich dadurch erzeugen, daß man den Kern einer Überschallströmung ins Hochvakuum überführt. Durch gleichzeitige Messung der Geschwindigkeitsverteilung nach einer Laufzeitmethode [E. W. Becker und W. Henkes, Z. Phys. 146, 320 (1956); O. Hagena und W. Henkes, Z. Naturforsch. 15a, 851 (1960)] und der Teilchenstromdichte von so erzeugten CO₂-Molekularstrahlen wird der aufgrund theoretischer Überlegungen erwartete Zusammenhang zwischen erreichbarer Strahlintensität und Machzahl nachgewiesen. In Überschallströmungen sind unter geeigneten Bedingungen Verdichtungsstöße zu erwarten, die die Machzahl der Strömung sprunghaft herabsetzen. Es wird gezeigt, daß auch bei der Erzeugung von Molekularstrahlen mit Überschallströmungen bei der Variation des Expansionsverhältnisses oder der Geometrie des Strahlerzeugungssystems sprunghafte Änderungen der Strahlgeschwindigkeit und Strahltemperatur auftreten, die auf die Wirkung von Verdichtungsstößen zurückzuführen sind. Die Verminderung der Machzahl ist mit einer entsprechenden Abnahme der Strahlintensität verbunden.

W. BLOSS (Inst. f. Gasentladungstechnik u. Photoelektronik d. TH Stuttgart): *Beitrag zur Physik der Glühkathodenentladung.*

Es wurde über Untersuchungen an Glühkathodenentladungen in Hg-Dampf und verdünnten Edelgasen berichtet. Dabei wurden die Zündbedingungen von Glühkathodenröhren in stark verdünnten Gasen und die raumladungskompensierende Wirkung positiver Ionen in verschiedenen Druckbereichen

(etwa 10^{-3} Torr und etwa 1 Torr) untersucht. Ferner wurden Bedingungen für den Übergang vom normalen Bogen mit fremdgeheizter Kathode in den Niedervoltbogen angegeben.

S. MADER (Inst. f. theor. u. angew. Phys. d. TH u. MPI f. Metallforschung Stuttgart): *Bestimmung der Stapelfehlerenergie von kubisch-flächenzentrierten Metallen aus elektronenmikroskopischen Bildern von Versetzungsknoten.*

Wie M. Whelan [Proc. Roy. Soc. A 249, 114 (1958)] bemerkte, kann ein Knoten aus drei Versetzungen, die zusammen mit ihren Burgersvektoren in einer Ebene liegen, eine Stapelfehlerfläche aufspannen, die so groß ist, daß sie im Elektronenmikroskop sichtbar ist. Aus der Größe solcher Stapelfehlerflächen läßt sich z. B. nach Rechnungen von R. Siems (Z. Phys., Veröffentlichung demnächst) die spezifische Flächenenergie der Stapelfehler ermitteln. Weitere Überlegungen zeigen, daß die Asymmetrie der Knoten Schlüsse auf den Charakter der beteiligten Versetzungen erlaubt. Es wurden einige Beispiele von Versetzungsknoten gezeigt. Über Anwendungen dieser Methode zur Bestimmung von Stapelfehlerenergien an Gold und Nickel-Kobalt-Legierungen wurde berichtet.

G. CZJZEK (Inst. f. theor. u. angew. Phys. d. TH u. MPI f. Metallforschung Stuttgart): *Zur Ausbildung von Stapelfehlertetraedern in abgeschreckten Metallen.*

In Goldproben, die von 1000 °C abgeschreckt und bei 200 °C wieder angelassen waren, fanden Hirsch und Mitarbeiter [J. Silcox und P. B. Hirsch, Phil. Mag. 4, 72 (1959)] im Elektronenmikroskop Fehlstellen, die sie als von Stapelfehlern begrenzte Tetraeder deuten konnten. In Aluminium entstehen unter entsprechenden Bedingungen Versetzungsringe. Es ist anzunehmen, daß diese Gebilde durch Versetzungsreaktionen aus ebenen Stapelfehlern entstehen, die sich durch Kondensation von Leerstellen auf Oktaederebenen bilden. Entscheidend für die Entstehung der einen oder anderen Form ist der Wert der spezifischen Stapelfehlerenergie des Metalls. Aus den beobachteten Gebilden können Rückschlüsse auf diese wichtige Materialkonstante gezogen werden. Zu diesem Zweck wurden die energetischen Verhältnisse bei der Ausbildung von Stapelfehlertetraedern aus ebenen, dreieckförmigen Stapelfehlern — als Mechanismus ist dabei die Aufspaltung der Randversetzungen in verschiedenen Oktaederebenen anzusehen — mit der Methode der linearen, isotropen Kontinuumstheorie der Versetzungen untersucht. Insbesondere wurde die Stabilitätsgrenze des Tetraeders gegenüber dem ebenen Gebilde in Abhängigkeit von der spez. Stapelfehlerenergie und der Größe der Gebilde bestimmt. Aus dem Vergleich mit den in Gold beobachteten größten Tetraedern ergibt sich für dieses Metall die spez. Stapelfehlerenergie: $\gamma \leq 1,3 \cdot 10^{-3} Gb$ (G : Schubmodul, b : kleinster Atomabstand im Gitter) in guter Übereinstimmung mit dem durch andere Methoden ermittelten Wert.

R. BERNER (MPI f. Metallforschung u. Inst. f. theor. u. angew. Phys. d. TH Stuttgart): *Die experimentelle Ermittlung der Stapelfehlerenergie aus Verfestigungsdaten von Einkristallen.*

Die Stapelfehlerenergie ist eine Materialkonstante und bestimmt die Breite des Stapelfehlerbandes, welches bei allen kubisch-flächenzentrierten Metallen von den aufgespaltenen Versetzungen aufgespannt wird; diese Energie spielt somit bei allen jenen Erscheinungen der plastischen Verformung eine Rolle, bei welchen diese Aufspaltung rückgängig gemacht werden muß.

Ein Beispiel hierfür ist die Quergleitung von Schraubenversetzungen, die für das Abbiegen der Verfestigungskurve nach den beiden linearen Berei-

chen verantwortlich ist. Die gegen Hindernisse gepreßten Schraubenversetzungen sind nämlich erst dann in der Quergleitebene gleitfähig, wenn an der betreffenden Stelle die aufgespaltene Versetzung zu einer vollständigen Versetzung zusammengepreßt worden ist. Mit Hilfe eines bei *Seeger, Berner* und *Wolf* beschriebenen Modells kann auf Grund dieser Vorstellungen über die Quergleitung von Schraubenversetzungen ein quantitativer Zusammenhang zwischen der Stapelfehlerenergie und der den Beginn des gekrümmten Bereichs der Verfestigungskurve kennzeichnenden Schubspannung angegeben werden.

Entsprechende Experimente wurden an den reinen Metallen Gold, Kupfer, Nickel und Aluminium sowie an Nickel-Cobalt-Legierungen durchgeführt.

H. STATZ und *A. SEEGER* (Inst. f. theor. u. angew. Phys. d. TH u. MPI f. Metallforschung, Stuttgart): *Theoretische Bestimmung des elektrischen Widerstands von Stapelfehlern und der Stapelfehlerenergie in einwertigen Metallen.* (Vorgetr. von *H. Statz*)

In einem sonst idealen Kristall befinde sich ein über die ganze Breite ausgedehnter Stapelfehler. Im Rahmen einer Einelektronentheorie wird die Wellenfunktion der Elektronen des Leitungsbandes nach *Wannierfunktionen* entwickelt, deren Zentren die Gitterplätze des gestörten Gitters sind. Die Koeffizienten der Entwicklung sind zu beiden Seiten des Stapelfehlers ebene Wellen, die die Deutung von einfallenden und gestreuten Wellen zulassen. Nach der Definition eines Reflexionskoeffizienten und einer Streu-Übergangswahrscheinlichkeit gelingt die direkte Berechnung des elektrischen Widerstands. Der Zusammenhang zwischen der Elektronenenergie E und des Ausbreitungsvektors k ist eine *Fourierentwicklung* von E im k -Raum. Die Methode ist demnach nicht nur auf sphärische Energieflächen beschränkt. Für die Änderung der k -Eigenwerte und damit der Energieeigenwerte des Leitungsbandes beim Einbau eines Stapelfehlers läßt sich eine Gleichung angeben, die geschlossen gelöst werden kann. Die Summation über die besetzten Zustände gibt die gesuchte Stapelfehlerenergie. Die Endergebnisse — elektrischer Widerstand und Stapelfehlerenergie — enthalten Integrale über Produkte von *Wannierfunktionen* mit dem Gitterpotential am Stapelfehler, die bis jetzt noch nicht berechnet sind. Plausible Annahmen über deren Größe bei Cu liefern Ergebnisse, die in den erwarteten Größenordnungen liegen.